

Entwicklungen im Ingenieur-Holzbau in der Kriegs- und Nachkriegszeit

Dröge, Georg

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 9, 1957,
S.202-224



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Entwicklungen im Ingenieur-Holzbau in der Kriegs- und Nachkriegszeit

Von Georg Dröge, Salzgitter-Thiede

Vorgelegt von Herrn Wilhelm Stoy

Übersicht: Die ingenieurmäßig durchgebildeten Holztragwerke sind in der Regel viel zu sehr den Stahlkonstruktionen nachgebildet, wodurch sich häufig unförmige formal unbefriedigende Anschlüsse ergeben. Das Holz, das nichts „Gemachtes“, sondern etwas „Gewordenes“ ist, verlangt eigene Arten der Beurteilung und Verarbeitung.

An Hand von Ausführungsbeispielen der Kriegs- und Nachkriegszeit wird gezeigt, daß es unter Heranziehung jüngster Erkenntnisse möglich ist, Holztragwerke so auszuführen, daß die heutigen Forderungen in wirtschaftlicher und ästhetischer Hinsicht voll erfüllt werden.

Summary: Mostly all engineered timber-constructions are up to date imitations of steel-constructions, this leads to unsatisfying solutions of the panel joints. The timber is not produced, but a grown material, which needs his own judgements and kinds of working up. By examples of the time during the World War II and later, following the latest results of scientific research, it is possible now to build timber-constructions, which fulfill our asthetic and economic demands.

1. Einleitung

Bereits im zwölften und dreizehnten Jahrhundert entstanden in Spanien während der maurischen Stilepoche Holztragwerke, die als Vorstufe unseres heutigen ingenieurmäßigen Holzbaues angesehen werden können. Abb. 1 zeigt einen Gitterträger, wie er von den Mauren hergestellt wurde; er weist bereits die gleichen Konstruktionsmerkmale auf wie die vernagelten Gitterträger unserer Zeit. Auch der verstiftete Hohlbalken (Abb. 2) könnte in jüngster Zeit entstanden sein [1].

Ende des 16. Jahrhunderts stellte *Philibert de l'Orme* vernagelte Balken sowie verleimte Bogenbinder von 14 m Stützweite her.

Um 1800 verwandte der deutsche Baumeister *David Gilly* vernagelte Sparbalken. Zwischen 1830 und 1840 entwarf Oberst *Emy* [2] Fachwerkbogenbinder bis zu 90 m Stützweite, und *Laves* empfahl den Gebrauch von vorgespannten, verstärkten Holzbohlen. In der gleichen Zeit entstand auch der *Howesche* Träger als Pioniergerät mit parallelen Gurten und senkrechten eisernen Zugstangen, der im Feldzug 1870/71 in Frankreich wiederholt als Brückenträger Verwendung fand.

Um 1900 bauten *Stephan* und *Melzer* Binder, bei denen als Verbindungsmittel Nägel und nagelähnliche Stahlstifte verwandt wurden [3].

Eine größere Verbreitung fanden alle diese Tragkonstruktionen nicht. Noch bis ins 20. Jahrhundert lag die Bemessung der Holztragwerke in der Regel in der Hand des Zimmermanns und erfolgte auf Grund des statischen Gefühls. Die Anschlüsse wurden durch Versatz, Zapfen, Blatt und Bolzen erfahrungsmäßig hergestellt. Jeder Zimmermann war bemüht, so wenig

Eisenteile wie irgend möglich einzubauen. Verbindungsmittel zur Übertragung größerer Zugkräfte fehlten. In alten Holzbauwerken findet man deshalb häufig hochgradig statisch unbestimmte Systeme, bei denen durch Überlagerung verschiedener Sprengwerke Zugkräfte in den Knotenpunkten weitgehend ausgeschaltet werden. Die Raumabmessungen, die mit diesen sogenannten Strebenwerken freitragend überbrückt werden konnten, waren beschränkt.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts trat mit der Herstellung von Walzprofilen der Baustoff Stahl immer mehr hervor. Der zimmermannsmäßige

Abb. 2. Verstifteter Balken
der maurischen Stilepoche

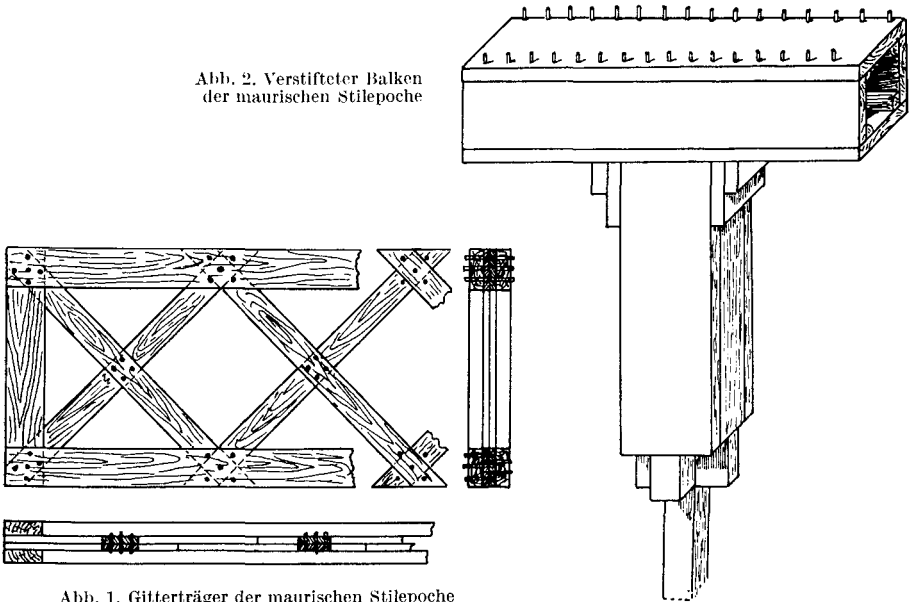


Abb. 1. Gitterträger der maurischen Stilepoche

Holzbau war den Aufgaben, die mit Stahltragwerken mühelos gelöst werden konnten, durch das Fehlen geeigneter Verbindungsmittel nicht gewachsen und trat dadurch mehr und mehr zurück. Erst durch die Verbreitung des Stahlbetons Anfang unseres Jahrhunderts erwuchsen dem Holzbau durch die notwendig werdenden Lehr- und Schalgerüste neue große Aufgaben, die eine sprunghafte Entwicklung zur Folge hatten.

Durch die schnell zunehmenden Spannweiten der Bogenbrücken wurden im Holzbau systematische wissenschaftliche Untersuchungen notwendig, die das Fundament für den Entwurf bildeten [4]. *Mörsch* führte bereits vor dem ersten Weltkrieg Festigkeitsuntersuchungen an Bauholz durch, die ihm als Grundlage für die Bemessung von Lehr- und Schalgerüsten dienten. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß es größtenteils Stahlbetoningenieure waren, die zur wissenschaftlichen Untermauerung des Holzbaues wesentlich beigetragen haben und eine Entwicklung einleiteten, die zu den ingenieurmäßig durchgebildeten Tragwerken führte, d. h. zu Tragwerken, bei denen Quer-

schnitte und Anschlüsse nicht gefühlsmäßig, sondern auf Grund der Festigkeitsberechnung bemessen werden [5, 6].

Gleich nach dem ersten Weltkrieg begann die systematische Erforschung der technischen Holzeigenschaften [7].

In wenigen Jahren wurden dann von den verschiedensten Seiten unzählige, meist patentierte Dübelarten entwickelt, die es ermöglichten, auch große Zugkräfte von Holz auf Holz zu übertragen [3, 8].

1930 veröffentlichte *Stoy* die Ergebnisse von Untersuchungen über die Tragfähigkeit vernagelter Verbände [9]. Da die Nagelverbindung nicht patentrechtlich geschützt war, konnte sie sich sehr schnell verbreiten. Der Nagel ist bis heute das billigste und meist verwandte Holzverbindungsmittel geblieben.

Die negative Seite dieser Entwicklung ist dadurch gekennzeichnet, daß man zur Beschränkung des Berechnungsaufwandes meist sehr einfache, innerlich statisch bestimmte Fachwerke wählte, die leider viel zu sehr den Stahlkonstruktionen nachgebildet wurden und dadurch zu großen Anschlußkräften und unförmigen, formal unbefriedigenden Knotenpunkten führten.

Außerdem hat das Streben nach geringem Holzverbrauch, gefördert durch den zeitweiligen Holzangel, teilweise aber auch durch verantwortungslose Konkurrenzkämpfe der Holzbauunternehmer untereinander, in den letzten 30 Jahren häufig zu Schöpfungen geführt, die von vornherein mit dem Keim schneller Vergänglichkeit behaftet waren. Diese Entwicklung hat dem Holzbau sehr geschadet und dazu geführt, daß Architekten und Bauherren oft Holztragwerke ablehnen, obwohl diese bei richtiger Durchbildung für viele Bauaufgaben besser geeignet sind als Tragwerke aus Beton und Stahl.

Erfreulicherweise sind in den letzten Jahren auf dem Gebiete des Ingenieur-Holzbauwes von den verschiedensten Seiten Wege beschritten worden, bei denen weniger angenehme Eigenschaften des Holzes wie Brandempfindlichkeit, Schwinden, Quellen, Wuchsmängel und große Festigkeitsunterschiede parallel und senkrecht zur Faserrichtung, durch geeignete bauliche Maßnahmen in ausgezeichnete Weise überwunden werden.

2. Erkenntnisse aus Versuch und Praxis

2.1 Verbesserung der natürlichen Holzeigenschaften

Als Bauholz wird in Deutschland für die Haupttragglieder fast nur europäisches Nadelholz verwandt, in der Hauptsache Fichte, Kiefer und Tanne. Buche und Eiche kommen nur für hochbeanspruchte Druckstücke in Frage. Das Holz ist nach seinem Aufbau kein homogener Baustoff. Es ist zu vergleichen mit einem Röhrenbündel, bei dem die einzelnen Röhren parallel dem Herz des Stammes ringförmig angeordnet sind (Jahrringe).

Die Festigkeiten des Holzes sind von den Wachstumsverhältnissen abhängig (Klima, Bodenbeschaffenheit, Wind und Dichte des Bestandes). Innerhalb eines Querschnittes bilden die jüngsten unter der Rinde liegenden Jahrringe — jedenfalls bei Nadelholz, das im Kulturwalde gewachsen ist — das tragfähigste Holz. Eine Beeinflussung der Holzeigenschaften durch den Forstmann ist nur in beschränktem Maße möglich (enge Pflanzung, Durchforstung, Astung).

Der Baumstamm ist von Natur aus in allen Teilen so eingestellt, daß trotz der Unregelmäßigkeiten im Aufbau ein Optimum an Tragkraft erreicht wird. Durch den Einschnitt wird das innere Gleichgewicht im Holz gestört. Ein Teil der Fasern wird zerschnitten und das Bett eingewachsener Äste aufgetrennt, so daß beim offenen Anschnitt von Ästen erhebliche Querschnittsschwächungen entstehen können, die wiederholt zum Bruch von Stäben und zur Zerstörung ganzer Tragwerke geführt haben.

Bereits 1930 versuchte man im Forstamt Westerhof am Harz, diese Mängel durch systematisches Asten auszuschalten. Beim Asten werden die trockenen Äste in Abständen von 5 bis 10 Jahren unmittelbar am Stamm abgesägt. Bereits nach einigen Jahren ist die Schnittstelle mit durchlaufenden Holz-

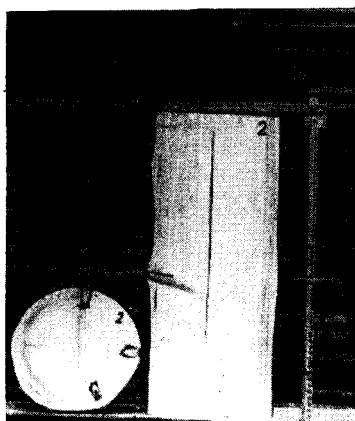


Bild 3. Holz zwei Jahre nach der Astung

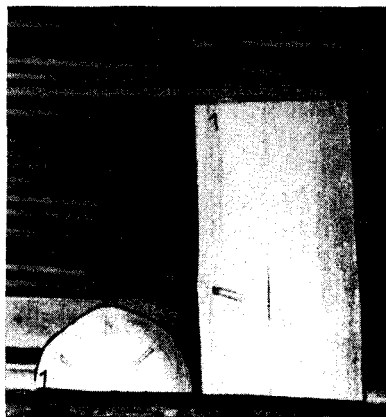


Bild 4. Holz zwölf Jahre nach der Astung

fasern überwachsen. Durch diese Maßnahme wird eine wesentliche Gütesteigerung erreicht. Die Zunahme der Festigkeit wird zur Zeit an Hand einer größeren Versuchsreihe geprüft. Abb. 3 zeigt Hirn- und Radialschnitt eines geasteten Stammes 2 Jahre nach der Astung und Abb. 4 etwa 12 Jahre nach der Astung.

Es ist wahrscheinlich, daß sich die Astung in der deutschen Forstwirtschaft in Zukunft mehr und mehr durchsetzen wird.

Heute läßt sich nur durch sorgfältige Sortierung von Hölzern aus Beständen höherer Lagen, in denen die unteren Äste früher abgeworfen werden, das Bauholz der Güteklasse I beschaffen [10]. Eine künstliche Verbesserung des Bauholzes ist durch Verleimung möglich.

Im Ingenieur-Holzbau gewinnt deshalb für hochbeanspruchte Teile das fabrikmäßig hergestellte Schichtholz immer mehr an Bedeutung.

Das *Schichtholz* ist ein Lagenholz, das aus vielen dünnen Lamellen mit gleichlaufender Faserrichtung verleimt wird. Wuchsfehler, welche die Holzfestigkeit vermindern, treten meist örtlich begrenzt auf. Vollhölzer werden deshalb in dünne Lamellen zerlegt, die so geschichtet und verleimt werden, daß die in den einzelnen Streifen enthaltenen Fehler nicht in einen Quer-

schnitt zu liegen kommen, sondern gegeneinander versetzt sind. Die Zugfestigkeit von Buchenschichtholz mit einer Furnierdicke von 1,0 bis 1,5 mm ist etwa 1300 kg/cm^2 (vgl. auch Tafel 1). Zur Erhöhung der Festigkeit kann das Schichtholz gepreßt werden und wird dann als Preßschichtholz bezeichnet. Für ein Raumgewicht von 1250 kg/m^3 steigt die Zugfestigkeit auf 2500 kg/cm^2 und erreicht damit bereits den Festigkeitsbereich des Stahles. Das Schichtholz läßt sich vor allen Dingen für hochbeanspruchte Stoßlaschen verwenden. Da die Lochleibungsfestigkeit nicht im gleichen Verhältnis steigt wie die Zugfestigkeit, ist der Anschluß schwierig. Neuerdings werden deshalb Schichthölzer hergestellt, bei denen einige wenige Furnierlagen mit ihrer Faserrichtung senkrecht zur Hauptfaserrichtung verlaufen. Infolge der dadurch eintretenden Absperrung wird eine Erhöhung der Lochleibungsfestigkeit erreicht, so daß der Anschluß mit Nägeln oder Stiften in wirtschaftlicher Weise möglich wird.

Da das Holz nur in der Faserrichtung eine große Festigkeit und eine hohe Raumbeständigkeit aufweist, senkrecht zur Faserrichtung jedoch erhebliche Schwindmaße auftreten können und eine nur geringe Festigkeit besteht, machen die Anschlüsse von mehreren Holzstäben oft Schwierigkeiten, vor allen Dingen dann, wenn größere Zugkräfte umgelenkt werden müssen. In solchen Fällen führt die Verwendung von Knotenplatten aus Sperrholz zu einfachen und sehr steifen Knotenpunkten.

Sperrholz ist ein Lagenholz, das aus einer ungeraden Zahl von Lamellen mit sich kreuzender Faserrichtung verleimt wird.

Im Holzbau haben sich wasserfest oder auch kochfest verleimte vielschichtige Furnierplatten aus Buchenholz mit einer Furnierdicke von 1,0 bis 1,3 mm und mindestens 7fachem Aufbau bewährt. Je geringer die Furnierdicke ist, um so größer wird die Lochleibungsfestigkeit und um so geringer werden die Zugfestigkeitsunterschiede in Abhängigkeit vom Faser-Lastwinkel. Diese Tatsache ist hauptsächlich auf die Verfestigung des Holzes quer zur Faser zurückzuführen, die infolge der Durchtränkung mit Leim eintritt.

Die Zugfestigkeit der vorgenannten Platten liegt zwischen 300 und 600 kg/cm^2 , je nach Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung des Deckfurniers. Die Lochleibungsfestigkeit kann mit 1000 bis 1100 kg/cm^2 angesetzt werden. Der Elastizitätsmodul für Biegung parallel zur Plattenebene ist gegenüber dem des Vollholzes gering und liegt zwischen 45000 und 60000 kg/cm^2 . (Weitere Festigkeiten sind der Tafel 1 zu entnehmen.)

Biegesteifer sind die in der Nachkriegszeit in der Schweiz entwickelten Kämpf-Platten, bei denen einzelne Brettlagen unter einem Winkel von vorzugsweise 5° miteinander verleimt werden. Durch die nur geringe Neigung der Brettlagen ist der E-Modul wesentlich höher als der E-Modul für Furnierplatten und kann auf Grund von Untersuchungen der EMPA in Zürich mit 130000 kg/cm^2 angesetzt werden. Die Absperrung der Fasern bewirkt, daß die Schubfestigkeit, die bei normalem Fichtenholz etwa 30 bis 40 kg/cm^2 beträgt, auf 70 bis 80 kg/cm^2 ansteigt. Die Kämpf-Platte kann in jeder Größe hergestellt werden, da die Bretter in Längsrichtung durch Keilzinkung (siehe Abschnitt 2.2) miteinander verbunden werden. Durch das günstige Verhältnis der Festigkeiten zueinander lassen sich mit dieser Platte sehr wirtschaftliche und formschöne Tragwerke herstellen (Abb. 20).

Tafel 1. Mittlere Festigkeiten von Lagenhölzern

(Die Festigkeitswerte sind Mittelwerte aus den verschiedensten Untersuchungen.)

Sie wurden folgenden Quellen entnommen:

1. *Brüning*, Festigkeitseigenschaften vergüteter Lagenhölzer, Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe D, H 20, Stuttgart 1955.
2. Eignungsprüfungen des Verfassers an Schichthölzern verschiedener Lieferwerke als Grundlage für die Bemessung ausgeführter Holzbauten).

	1	2	3	4
		Buchen-Schichtholz	Buchen-Preßschichtholz	Buchen-Sperrholz
1	Dicke der Einzelfurniere (mm)	1,0 bis 1,5	1,0 bis 1,5	1,0 bis 1,3
2	Gesamtdicke (mm)	> 10	> 10	> 10
3	Rohgewicht (t/m ³)	0,75 bis 0,80	1,25	0,80
A	Zugfestigkeit (kg/cm ²)			
4	Schicht Faser	1 300	2 500	600
5	Schicht ⊥ Faser	75	180	550
6	Schicht ✕ Faser	—	—	360
B	Druckfestigkeit (kg/cm ²)			
7	Schicht Faser	800	1 600	550
8	Schicht ⊥ Faser	250	950	500
9	Schicht ✕ Faser	—	—	360
C	Biegefestigkeit (kg/cm ²)			
	Stabachse Last			
10	Faser Schicht	1 500	2 500	650
11	Faser ⊥ Schicht	1 500	3 200	600
12	⊥ Faser Schicht	—	—	550
13	⊥ Faser ⊥ Schicht	—	—	500
D	Scherfestigkeit			
	Scherfläche Last			
14	Schicht } Faser	70	100	70
15	Faser } Faser			
16	Schicht } ⊥ Faser	50	100	70
17	⊥ Faser } Faser	200	400	230
18	⊥ Schicht } ⊥ Faser	60	360	230
19	⊥ Faser } ⊥ Faser			
E	Lochleibungsfestigkeit (kg/cm ²)			
	Bolzenachse Last			
18	⊥ Schicht Faser	700	1 300	1 100
19	⊥ Schicht ⊥ Faser	580	800	1 000
F	Elastizitätsmodul (kg/cm ²)			
20	Zug und { = Faser	150 000	280 000	85 000
21	Druck { ⊥ Faser	8 000	35 000	80 000
22	Biegung ⊥ Faser	—	—	45 000

2.2 Verbesserungsmöglichkeiten der Holzverbindungen und Holzverbindungsmitel

Im Ingenieur-Holzbau sollten nur noch Holzverbindungen angewendet werden, die auch nach dem Schwinden des Holzes ohne große Verformungen kraftschlüssig bleiben. Versätze erfordern große Paßgenauigkeit, wenn sie den Anforderungen genügen sollen, man sollte sie deshalb immer auf ein Mindestmaß beschränken.

Die Krafteinleitung über Druck senkrecht zur Faserrichtung ist nur für untergeordnete Tragteile unbedenklich. Besser ist es, die Anschlüsse mit besonderen Verbindungsmitteln herzustellen, da nur hierdurch Formänderungen infolge Schwinden des Holzes weitgehend ausgeschaltet werden können.

Dübel werden in der Hauptsache für große Anschlußkräfte verwandt. Die letzten 20 Jahre haben auf diesem Gebiet keine wesentlichen Neuerungen gebracht. Große Holzbauunternehmen verwenden meist Einfräsdübel eigener Entwicklung.

Einpreßdübel sind in der Regel teurer und erfordern bei harten Hölzern sehr große Preßdrücke, lassen sich aber vielseitiger einsetzen. Geka-Einpreßdübel werden z. B. mit einseitigen Dornen hergestellt und können für An-

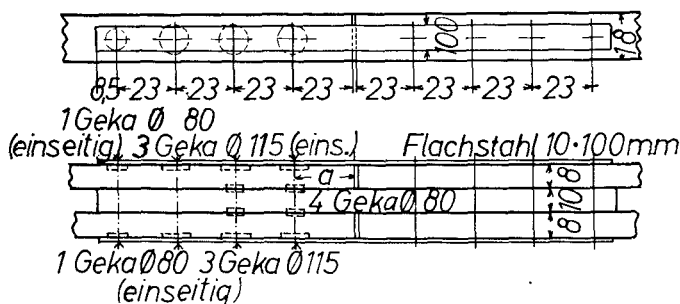


Abb. 5. Stoß eines Zugstabes mit normalen und einseitigen Geka-Holzverbindern

schlüsse von Holz an Stahl verwendet werden. Abb. 5 zeigt den Stoß eines zweiteiligen Zugstabes mit einer Mittellasche aus Holz und aufgelegten Stahl-laschen. Der Anschluß erfolgt mit normalen und einseitigen Geka-Holzverbindern [11].

Bemühungen, die Tragkraft von Geka-Dübeln durch Ineinanderlegen von zwei Verbindern unterschiedlicher Größe zu steigern, blieben erfolglos. Untersuchungen von Löhner [12] haben bewiesen, daß sich die Tragkraft auf diese Weise nicht erhöhen läßt.

Wegen der geringen Festigkeit des Holzes senkrecht zur Faserrichtung und der geringen Scherfestigkeit sind Verbindungen mit verteilter Krafteinleitung werkgerechter als solche mit konzentrischer Krafteinleitung.

Nägel werden als Verbindungsmittel tragender Bauteile von jedem Zimmermeister verwandt, leider häufig ohne Kenntnis der Konstruktionsprinzipien, die einen guten Verband gewährleisten.

Das Wesen der Vernagelung liegt in der mehr oder weniger flächenfesten Verbindung mit beschränkter Tiefenwirkung.

Neuere Versuche von *Mlynek* [13] und *A. Meyer* [14] haben sehr wesentlich zur Kenntnis der Kraftübertragung beigetragen.

Die Kraftübertragung in die Tiefe des Holzes ist abhängig von der Lochleibungsfestigkeit der zu verbindenden Hölzer und vom Verformungswiderstand der Nägel. *Meyer* unterteilt die Beanspruchung des Nagels in der Verbindung in

1. Biegebeanspruchung infolge Trägerwirkung,
2. Zugbeanspruchung infolge Seilwirkung.

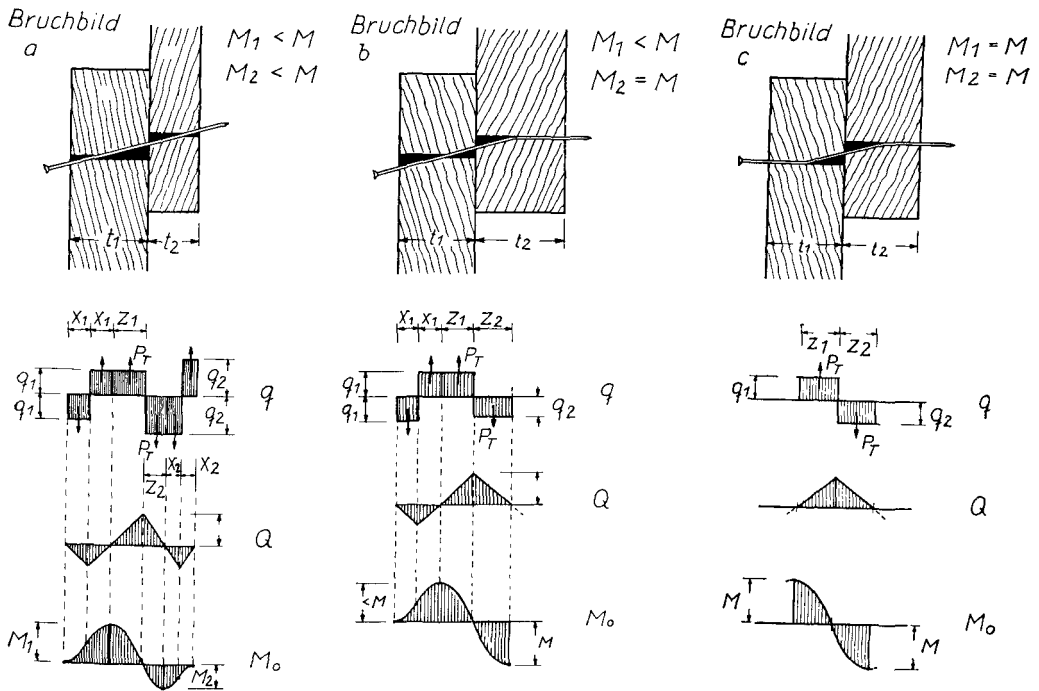


Abb. 6. Bruchbilder einer Nagelverbindung nach A. Meyer

Die Trägerwirkung tritt immer auf, die Seilwirkung dagegen nur unter besonderen Voraussetzungen, sie ist abhängig von der Verankerung und Verformung des Nagels im Holz.

Die in DIN 1052 gemachten Angaben über die Tragfähigkeit von Nägeln beziehen sich nur auf Verbindungen von Nadelhölzern mit handelsüblichen Drahtstiften. Für Nagelverbindungen aus anderen Baustoffkombinationen können sie nicht verwendet werden. Für diese Fälle gibt *Meyer* brauchbare Formeln zur Ermittlung der Tragkraft und der erforderlichen Holzdicke an. Er unterscheidet drei typische Bruchbilder (Abb. 6a, b, c).

Vernachlässigt man den nicht zuverlässigen und in der Regel geringen Einfluß der Seilwirkung und berücksichtigt nur die Trägerwirkung, so ergeben

sich im Bruchzustand unter der Voraussetzung idealplastischer Baustoffe verhältnismäßig einfache und hinreichend genaue Belastungsverhältnisse.

Bei Einführung der folgenden Begriffe und Bezeichnungen läßt sich die Traglast, d. h. die Last, die ein Nagel von Holz auf Holz durch Trägerwirkung übertragen kann aus den Gleichgewichtsbedingungen $\Sigma V = 0$ und $\Sigma M = 0$ des betreffenden Bruchbildes errechnen.

P_T = Traglast des Nagels infolge Trägerwirkung

$$= z_1 \cdot q_1$$

$M_{(\text{kgcm})}$ = Tragemoment des Nagels.

Hierunter wird das Moment verstanden, das ein Nagel aufzunehmen vermag.

1. Für Nagelwerkstoffe mit ausgeprägter Fließspannung ist:

$$M = W_s \cdot \sigma_s$$

$$= 0,167 \cdot d^3 \cdot \sigma_s$$

W_s = Widerstandsmoment beim voll plastizierten Querschnitt

σ_s = Fließspannung

d = Schaftdurchmesser des Nagels.

Für normale handelsübliche Nägel nach DIN 1151 ist näherungsweise

$$M = 1275 \cdot d^3 \cdot (1,33 - d).$$

In dieser Formel ist die mit zunehmendem Nageldurchmesser abnehmende Fließspannung berücksichtigt.

2. Für Nagelwerkstoffe ohne ausgeprägte Fließspannung ist:

$$M = W_B \cdot \sigma_{Bz}$$

W_B = Widerstandsmoment im Bruchzustand

σ_{Bz} = Bruchspannung.

Das Widerstandsmoment W_B läßt sich hierfür nicht in allgemeingültiger Form angeben, weil der Formbeiwert des Spannungsdiagramms nicht von vornherein bekannt ist. Es ist deshalb zweckmäßig, das Tragemoment jeweils durch Versuche zu ermitteln.

Für runde Stahlnägel ohne ausgeprägte Fließgrenze ergibt sich nach [14] nachfolgendes Tragemoment:

$$M = 0,10 \cdot d^3 \cdot \sigma_{Bz}$$

q (kg/cm) = Lochleibungsbruchbelastung des Holzes.

$$= \sigma_L \cdot d$$

σ_L = Lochleibungsfestigkeit des Holzes

d = Schaftdurchmesser des Nagels

t (cm) = Holzdicke

$$\beta = q_2/q_1 = \sigma_{L2}/\sigma_{L1}$$

$$\alpha = t_2/t_1$$

Aus den Gleichgewichtsgleichungen wird:

für das Bruchbild 6a

$$z_1 = t_1 \left[\frac{1}{1 + \beta} \sqrt{\beta + 2\beta^2 + 2\beta^2\alpha + 2\beta^2\alpha^2 + \beta^3\alpha^2} - \frac{\beta(1 + \alpha)}{1 + \beta} \right],$$

für das Bruchbild 6b

$$z_1 = -\frac{t_1 \cdot \beta}{2 + \beta} + \sqrt{\frac{\beta}{2 + \beta} \left(\frac{4M}{q_1} + 2t_1^2 \cdot \frac{1 + \beta}{2 + \beta} \right)},$$

für das Bruchbild 6c

$$z_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{M}{q_1} \cdot \frac{\beta}{(1 + \beta)}}.$$

Die maximale Traglast wird erreicht, wenn die anzuschließenden Hölzer so dick sind, daß das Bruchbild 6c entsteht. Das trifft zu, wenn beim einschnittigen Verband

$$t_1 \geq z_1 + 2 \sqrt{\frac{M}{q_1}} \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{M}{q_1}} \cdot \left(1 + \frac{q_2}{q_1 + q_2} \right)$$

$$\text{und } t_2 \geq z_2 + 2 \sqrt{\frac{M}{q_2}} = 2 \sqrt{\frac{M}{q_2}} \cdot \left(1 + \frac{q_1}{q_2 + q_1} \right)$$

oder ganz allgemein

$$t_s \geq z_s + 2 \frac{M}{q} = 2 \frac{M}{q} \cdot \left(1 + \frac{q'}{q + q'} \right),$$

wenn q = Lochleibungsbruchbelastung des betrachteten Holzes

und q' = Lochleibungsbruchbelastung des Nachbarholzes.

Beim zwei- oder mehrschnittigen Verband wird die Dicke der Seitenhölzer wie vor ermittelt. Die Dicke des Mittelholzes errechnet sich zu

$$t_m \geq z_{ml} + z_{mr} \geq 2 \sqrt{\frac{M}{q}} \left(\sqrt{\frac{q'_l}{q + q'_l}} + \sqrt{\frac{q'_r}{q + q'_r}} \right),$$

wenn q'_l = Lochleibungsbruchbelastung des linken Nachbarholzes

und q'_r = Lochleibungsbruchbelastung des rechten Nachbarholzes ist.

Nach dem Vorschlag von A. Meyer kann die zul. Belastung des einschnittigen Nagels angesetzt werden zu $P_1 = P_T/2,5$.

Der n -schnittige Nagel trägt das n -fache des einschnittigen Nagels.

Die Baustoffe lassen sich entsprechend ihrer Festigkeit so anordnen, daß die Tragkraft jeweils ein Maximum wird, dadurch werden die Querschnitte geringer und Knotenpunkte, Stoßstellen und Rahmenecken eleganter und gefälliger (Abb. 16).

Für die Festigkeit eines Nagelverbandes sind die Nagelabstände von großer Wichtigkeit.

Die DIN 1052 nennt als geringste Nagelabstände ganz allgemein:

in der Kraftrichtung	12 d vom belasteten Rande,
	10 d untereinander,
	5 d vom unbelasteten Rande,
senkrecht zur Kraftrichtung	5 d vom Rande,
	5 d untereinander.

Für Winkelanschlüsse, wie sie z. B. bei Fachwerkträgern zwischen Füllstäben und Gurten auftreten, sind die Nagelabstände nach DIN 1052 wegen der Sperrwirkung der sich kreuzenden Fasern im allgemeinen ausreichend, jedoch sollte der Endabstand der ersten Nagelreihe in der Krafrichtung mit Rücksicht auf die Spaltgefahr von $12 d$ auf $15 d$ bzw. für dickere Nägel ($> 5,5 \text{ mm}$) von $12 d$ auf $20 d$ erhöht werden. Die Vergrößerung der Endabstände ist auch deshalb zu empfehlen, weil in den Knotenpunkten eine freie Drehbarkeit der Anschlußstäbe nicht gewährleistet ist und somit in der Nagelverbindung Zusatzkräfte auftreten, die bewirken, daß das Holz zwischen dem letzten Nagel und dem Stabende aufreißt. Das tritt vor allen Dingen dann ein, wenn Diagonalstäbe mit verhältnismäßig wenig Nägeln an Gurte angeschlossen werden.

Vorsicht ist dann geboten, wenn Zugstöße durch aufgenagelte Laschen gedeckt werden sollen. Die Fasern der Hölzer verlaufen parallel. Das Holz spaltet beim Eintreiben der Nägel besonders leicht. Stoßlaschen sollten nicht aus zu engringigem Holz hergestellt werden, oder aber man sollte für die Stoßlaschen nicht zu trockenes Holz wählen. Nach Untersuchungen des Institutes für Holzforschung an der Technischen Hochschule Stuttgart tragen aufgenagelte, weitringige bzw. auch feucht aufgenagelte, engringige Holzlaschen wesentlich mehr als trocken aufgenagelte, engringige Laschen [15].

Da das Holz vor dem Einbau fast immer mit Holzschutzmitteln behandelt wird, hat sich das Tränken der Laschen kurz vor dem Einbau bewährt. Durch die Tränkung wird das Holz an der Oberfläche geschmeidig. Die Spaltgefahr wird dadurch wesentlich vermindert. Auf Grund der Stuttgarter Versuche sollte man bei Zuglaschen die Nagelabstände in der Krafrichtung auf $15 d$ untereinander und auf 15 bis $20 d$ vom belasteten Rande erhöhen.

Für das Spalten des Holzes ist es außerdem von großer Wichtigkeit, in welcher Reihenfolge die Nägel eingetrieben werden. In der Praxis hat es sich bewährt, zunächst die vier Ecknägel u.U. mit gestauchter Spitze einzuschlagen und die weitere Nagelung in Querreihen von außen nach innen vorzunehmen. Versuche von Marten [16] haben bestätigt, daß die Nagelung in Querreihen festere Verbände liefert als die Nagelung in Längsreihen.

Wird für die Stoßlaschen Sperrholz verwandt, so ist eine Vergrößerung der Nagelabstände entbehrlich, vorausgesetzt, daß auch hier die Nagelung in Querreihen von außen nach innen vorgenommen wird.

Treten bei Bauwerken stoßweise oder schwingende Lasten auf, so sollte man prüfen, ob ein genageltes Holztragwerk überhaupt am Platze ist. Versuche des Institutes für Holzforschung der Technischen Hochschule Stuttgart [16] an Einzelkörpern und an einem ganzen vollwandigen Brückenträger von 35 m Stützweite (Abb. 7) haben bewiesen, daß bei oftmals wiederholter Last, die zwischen $0,2 P_{zul.}$ und $1,5 P_{zul.}$ schwankt, Dauerbrüche der Nägel zum Bruch des Verbandes führen können. Hieraus folgt, daß bei Dauerbrücken und Kranbahnen schon unter der Gebrauchslast Brüche der Nägel möglich sind. Bei der Lebensdauer von Behelfsbrücken reichen die Lastwechsel unter der Gebrauchslast im allgemeinen nicht aus, um den Bruch der Nägel herbeizuführen. Da die Verschiebungen der anzuschließenden Hölzer mit zunehmender Zahl der Lastspiele jedoch schnell wachsen, ist auch bei Behelfsbrücken eine vorsichtige Bemessung der Nagelanschlüsse geboten.

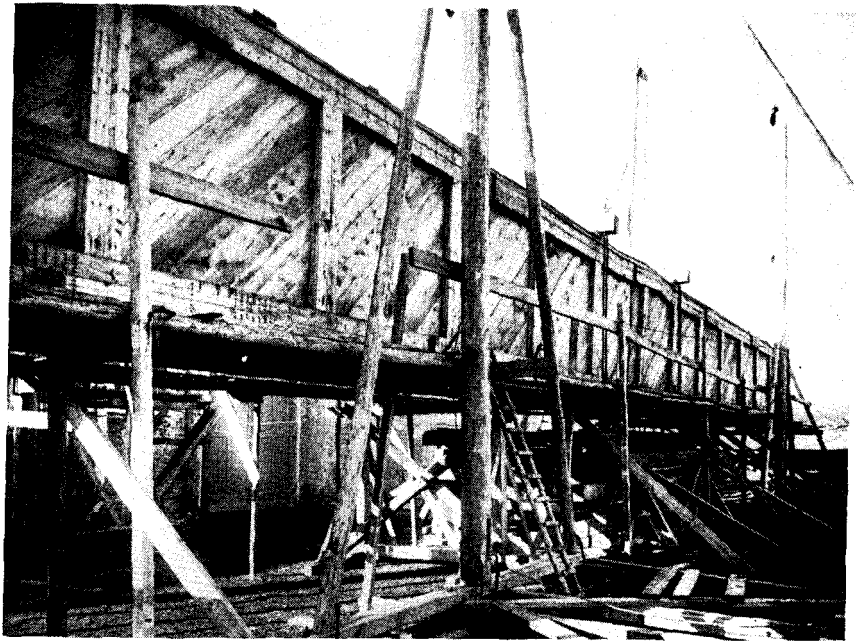


Abb. 7. Brückenträger von 35 m Stützweite nach dem Bruch des Obergurtes

Leim hat als Holzverbindungsmittel in der Nachkriegszeit erheblich an Bedeutung zugenommen. Die Herstellung von Leimtragwerken ist zulassungspflichtig. Die große Leimerlaubnis, die nötig ist, um Leimkonstruktionen jeder Stützweite herstellen zu dürfen, besitzen zur Zeit nur vier Firmen in der Bundesrepublik. Bei der Erteilung der Leimerlaubnis werden sehr strenge Maßstäbe angelegt.

Im Ingenieur-Holzbau werden heute nur noch härtbare Kunstharzleime verwandt.

Wegen ihres geringen Preises kommen für flächige Tragwerke in der Hauptsache Harnstoffharzleime zur Verwendung, wovon der Kauritleim WHK der bedeutendste ist.

Zur Erreichung größerer Sicherheit gegen Fehlleimungen werden bei feingliedrigen Tragwerken mit großer Leimfugenbeanspruchung in den letzten Jahren häufig Resoreinharzleime, die zu den hochwertigsten, aber auch teuersten Holzleimen gehören, verwandt. Ein bekannter Vertreter dieser Leimgruppe ist der Aerodux 185, der von der Ciba A.G., Wehr in Baden, geliefert wird.

Der Leim nimmt unter den Verbindungsmitteln insofern eine Sonderstellung ein, als er das zersägte Holz wieder zu einem festen Ganzen verbindet. Leimfugen sind in der Regel fester als das benachbarte Holz. Bei Fachwerkträgern wird dieser Vorteil zum Nachteil. Unter der Einwirkung der Last treten in Fachwerkträgern zwischen den einzelnen Stäben Winkeländerungen ein, die infolge der starren Leimverbindung zu Zusatzspannungen

führen, die bei großen Bindern unter Umständen zum Bruch des Tragwerkes führen können. Verleimte Gitterträger mit geringer Höhe haben sich jedoch trotz anfänglicher Rückschläge bewährt. Hierbei wird die Verbindung durch Zinkung bevorzugt. Bei der Dreieck-Streben-Bauweise werden die Diagonalstäbe durch Finger-Parallelzinkung angeschlossen (Abb. 8). Die zulässige Scherbeanspruchung war ursprünglich auf 9 kg/cm^2 festgesetzt, wurde jedoch

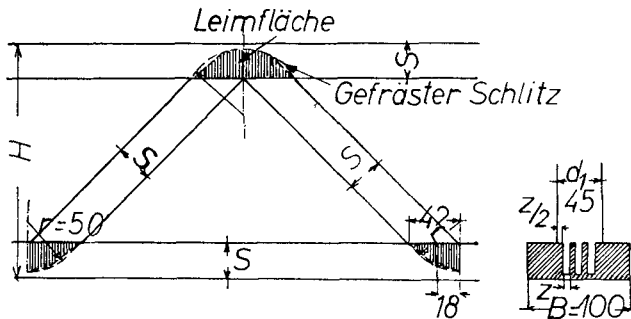


Abb. 8. Dreieck-Streben-Bauart

auf Grund verschiedener Schadensfälle auf $4,5 \text{ kg/cm}^2$ ermäßigt, um neuerdings wieder auf 6 kg/cm^2 erhöht zu werden. Die Zulassung beschränkt sich auf Träger mit parallelen Gurten und einer maximalen Höhe von $0,80 \text{ m}$.

Bei der Trigonit-Bauweise werden die Streben mittels Keilzinkung fabrikmäßig zu einem Gittersteg verleimt. Die Gurte werden durch Nagelung mit den Strebenknoten verbunden (Abb. 9). Der Anschluß wird dadurch nach-

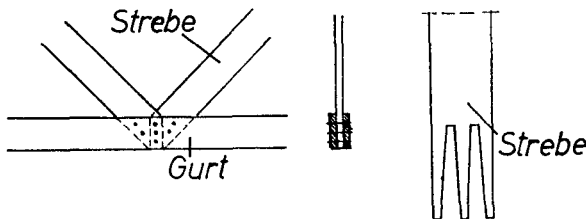


Abb. 9. Trigonit-Bauart

giebig und führt zu einer Verminderung des rechnerischen Trägheitsmomentes. Die Seitensteifigkeit dieser Träger ist gering, deshalb muß auf eine ausreichende Sicherung der Druckgurte gegen Ausknicken besonderer Wert gelegt werden.

Beide Bauweisen sind dadurch gekennzeichnet, daß sie sehr feingliedrig sind und die Ausführung besondere Einrichtungen und eine sorgfältige Überwachung der Herstellung erfordert.

Sehr große Vorteile hat die Keilzinkung bei der Herstellung von Zugstößen gebracht. Ursprünglich wurden verleimte Stöße durch Schäftung her-

gestellt, dabei entstanden größere Holzverluste durch die erforderliche Schäftlänge. Bei der Herstellung eines Zugstoßes durch Keilzinkung ist der Holzverlust gering.

Abb. 10 zeigt einen geschäfteten Gurtstoß im Vergleich zu einem Stoß mit Keilzinkung. Die Stoßlänge ist bei der Keilzinkung auf etwa 6% der ursprünglichen Länge zusammengeschrunpft.

Bei der Keilzinkung darf das Holz an der Stoßstelle als Vollholz angesehen werden. Die hervorgerufenen Schwächungen bewegen sich in den Grenzen, die für Schwächungen durch Wuchsunregelmäßigkeiten zugelassen sind [17].

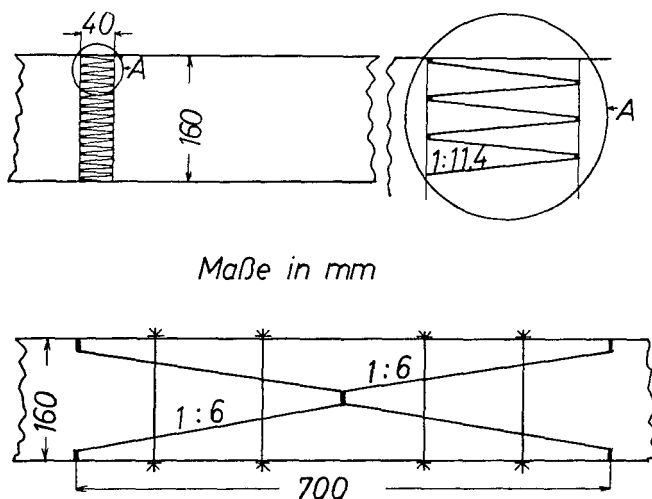


Abb. 10. Gurtstoß durch Keilzinkung und Schäftung

Nachdem es möglich geworden ist, Hölzer in einem beschränkten Bereich durch Hochfrequenztrocknung auf einen für die Verleimung notwendigen Feuchtigkeitsgehalt zu bringen, hat sich die Verbindung von Gurthölzern durch Keilzinkung auch für vernagelte und verdübelte Tragwerke durchgesetzt. Es ist damit möglich geworden, ohne die sonst bei Leimbauweisen erforderliche künstliche Trocknung des gesamten Holzes auszukommen und trotzdem Hölzer beliebiger Längen ohne sichtbare Stöße herzustellen.

Da es gerade die unförmigen Stöße üblicher Art sind, die Holztragwerke verunstalten, ist durch die Keilzinkung auch in ästhetischer Hinsicht für den gesamten Ingenieur-Holzbau ein bedeutender Erfolg erzielt worden. Der größte Vorteil des Leimbauwesens liegt in der Herstellung flächiger Tragwerke, die unserem heutigen Formempfinden am besten entsprechen.

Bei der *Kämpfbauweise* werden die unter 2.1 erwähnten Stegplatten fabrikmäßig hergestellt und an lizenzierte Firmen geliefert, die sie für jeden Fall zu ganzen Trägern oder Rahmentragwerken zusammenfügen. Der Preßdruck für das Aufleimen der Gurthölzer wird durch Nagelung erreicht, so daß die Anschaffung kostspieliger Preßeinrichtungen entfallen kann.

Für Balken, Pfetten und Sparren haben die fabrikmäßig hergestellten Wellstegträger eine größere Verbreitung gefunden (Abb. 19).

Da Träger mit vollen Stegen in jedem Fall eine größere Sicherheit aufweisen als feingliedrige Gitterträger mit ihren zahllosen Verbindungsstellen, wurde bei der Entwicklung des Wellstegträgers auf das bewährte I-Profil zurückgegriffen, ohne die Nachteile des großen Baustoffaufwandes in Kauf zu nehmen.

Wellstegträger werden in einer Maschine am laufenden Band mit nur geringen Lohnkosten hergestellt.

Die zuverlässige Verleimung wird dadurch erreicht, daß durch den vorgespannten, gewellten Sperrholzsteg Paßungenauigkeiten ausgeglichen werden und ein dauernder Preßdruck auf die Nutzwandung erzeugt wird. Der besonders bauliche Vorteil der Wellstegträger liegt in der großen Steifigkeit in beiden Achsrichtungen und der interessanten Flächenwirkung.

2.3 Neuere Erkenntnisse über die Bemessung hölzerner Tragglieder

Maßgebend für die Bemessung und Berechnung hölzerner Tragglieder ist in Deutschland die DIN 1052, die für Holzbrücken durch die DIN 1074 ergänzt wird. Die Bemessungsgrundlagen dieser Normblätter entsprechen teilweise nicht mehr dem derzeitigen Stand der Entwicklung.

Mindestquerschnitte werden in DIN 1052 für genagelte und geleimte Stäbe nicht angegeben.

In der Praxis hat sich gezeigt, daß eine Einschränkung der Querschnittswahl auch für diese Bauarten erforderlich ist, weil durch Wuchsunregelmäßigkeiten bei kleinen Holzquerschnitten u. U. eine erhebliche Querschnittschwächung und damit verbundene Minderung der Tragfähigkeit eintritt, die bei größeren Querschnitten keine Rolle spielen würde.

Für genagelte Fachwerkträger sollten Einzelstäbe mit einem Querschnitt $< 2,4/10$ cm nicht verwandt werden. Für Vollwandträger kann dieser Wert auf $2,2/10$ ermäßigt werden. Bei gezogenen Einzelstäben ist es ratsam, die in DIN 1052 angegebene zulässige Zugspannung von 85 kg/cm^2 , bei Querschnitten unter 50 cm^2 nicht voll auszunutzen. Bei Querschnitten von 24 cm^2 sollte man die zulässigen Spannungen auf 60 kg/cm^2 ermäßigen. Bei Querschnitten, die zwischen 50 und 24 cm^2 liegen, könnten Zwischenwerte geradlinig eingeschaltet werden. Mehrteilige Druckstäbe können nach DIN 1052 nicht einwandfrei bemessen werden. Die Berechnung ist an ziemlich willkürliche Annahmen geknüpft.

Zur endgültigen Klärung der Knickfrage mehrteiliger Druckstäbe wurden von *Möhler* und *Egner* in den letzten Jahren Versuche durchgeführt, die gezeigt haben, daß das Trägheitsmoment $I = \Sigma I_1 + \Sigma F_1 \cdot e_1^2$ nur bei kontinuierlich verleimten Stäben voll wirksam wird. Bei allen anderen Verbindungen mehrteiliger Stäbe muß der Wert $\Sigma F_1 \cdot e_1^2$ wegen der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel abgemindert werden. Das wirksame Trägheitsmoment ist

$$I_w = \Sigma I_1 + \gamma \Sigma F_1 \cdot e_1^2.$$

Der Abminderungsbeiwert γ wurde inzwischen für genagelte oder verdübelte Zwischenhölzer, genagelte Bindebretter, kontinuierlich vernagelte Einzel-

stäbe, eingeleimte Zwischenhölzer, aufgeleimte Bindehölzer aus Sperrholz und geleimte Gitterstäbe durch Versuch festgestellt (17).

Für die Bemessung der Anschlüsse sollte eine ideelle Stabquerkraft von

$$Q_i = 1,6 \cdot \omega_w \cdot S / \sigma \text{ zul}$$

über die ganze Stablänge gleichbleibend angenommen werden.

Hierin bedeuten S die Stabkraft in kg,

ω_w der dem wirksamen Schlankheitsgrad entsprechende Knickbeiwert,

σ zul die zulässige Druckspannung in kg/cm².

3. Neuzeitliche Holztragwerke

In der Nachkriegszeit haben die flächig wirkenden Tragwerke immer mehr an Bedeutung gewonnen, weil sie ästhetisch befriedigender wirken als Stabwerke und sich vor allen Dingen unliebsame Staubablagerungen vermeiden lassen. Bei der Brandbekämpfung ist diese Tatsache sehr wichtig und wird leider beim Entwurf der Bauwerke noch viel zu wenig beachtet.

Meist sind es Staubablagerungen, die Entstehungsfeuer explosivartig nähren. Je feingliederiger das Tragwerk ist, um so größer ist die Brandempfindlichkeit und um so schlechter lassen sich Feuerschutzmaßnahmen durchführen.

Bei Stabwerken läßt sich ein wirksamer Schutz gegen Entstehungsfeuer nur durch Einbau von feuerbeständigen Verkleidungen erreichen. In manchen Fällen kann jedoch schon durch betriebliche Vorkehrungen, wie Einbau von Staubabsauganlagen und Verhinderung von Wärmestauungen im Bereich der Beleuchtungskörper, die Gefahr von Totalschäden erheblich vermindert werden. Bei den vollwandigen glatten Tragwerken ist ein besonderer Feuerschutz im allgemeinen entbehrlich, da eine erhebliche Wärmeentwicklung nötig ist, um eine solche Konstruktion zu entflammen. Werden solche Tragwerke noch mit neueren Flammenschutzanstrichen versehen, die bei direkter Beflammung unter Entwicklung nicht brennbarer Gase das Holz mit einer festen Schaumschicht umgeben, so sind zur Vernichtung dieser Holzwerke bereits Brandherde erforderlich, die auch einer Stahlkonstruktion oder Betonkonstruktion gefährlich werden können. Ein großer Vorteil der Holztragwerke liegt in der Unempfindlichkeit gegenüber Temperaturänderungen. Holzkonstruktionen lassen sich auch bei größten Ausmaßen ohne Dehnungsfugen oder bewegliche Lager ausführen, wodurch sich häufig ganz erhebliche bauliche Vereinfachungen ergeben. Bei richtiger Durchbildung der Tragwerke, derart, daß die Luft alle Knotenpunkte umspülen kann und ein sorgfältiger Schutz des Holzes gegen tierische Schädlinge erfolgt ist, entstehen keine Unterhaltungsarbeiten. Gerade für Bauteile, die schwer zugänglich sind ist diese Tatsache außerordentlich wichtig.

Beim Umbau von Lichtspielhäusern konnte in den letzten Jahren immer wieder beobachtet werden, daß Stahltragwerke häufig schon nach wenigen Jahren in gefährlichem Maße durch Rost zerstört waren.

3.1 Stabwerke

Stabwerke werden vor allen Dingen für die wirtschaftliche Überbrückung großer Stützweiten verwandt. Verleimte Gitterträger kommen nur für einzelne Tragglieder in Frage. Tragwerke mit fortlaufenden Füllstäben wirken ausgeglichener als Stabwerke mit einsinnig geneigten Diagonalstäben. Kraftübertragungen senkrecht zur Faserrichtung sollten möglichst vermieden

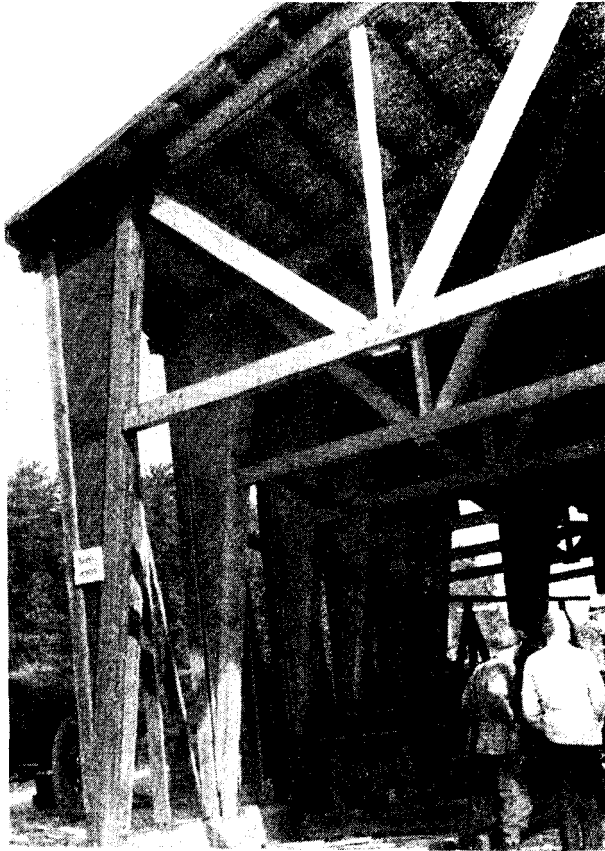


Abb. 11. Rahmenartiger Nagelbinder

werden, weil sie beim Schwinden des Holzes zu erheblichen Verformungen des Tragwerkes führen können. Im Bereich großer Querkkräfte können außermittige Anschlüsse der Füllstäbe erhebliche Zusatzspannungen in den Gurten erzeugen und zum Bruch der Gurte führen, sie sind deshalb nur dort unbedenklich, wo die Querkkräfte gering sind. Für schwere Tragwerke sind innerlich statisch unbestimmte Fachwerke den statisch bestimmten Fachwerken überlegen, weil die inneren Kräfte besser verteilt werden und sich dadurch die Anschlüsse besser herstellen lassen.

Abb. 11 zeigt den oberen Eckpunkt eines rahmenartigen genagelten Binders von 22 m Stützweite. Die Anschlüsse sind sehr sauber und formschön durchgebildet. Das gesamte Tragwerk wirkt ausgeglichen und ästhetisch befriedigend.

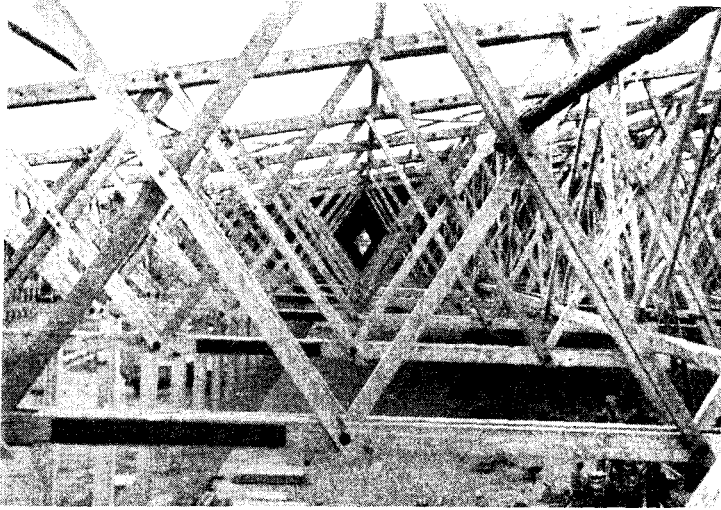


Abb. 12. Verdübelter Binder mit Rautenfachwerk

Abb. 12 zeigt einen Ausschnitt aus dem verdübelten Tragwerk einer Fabrikationshalle von 34 m Stützweite. Als System wurde hier ein Rautenfachwerk gewählt. An den Untergurten der Binder ist eine Kranbahn mit einer Tragkraft von 3 t aufgehängt. Die ursprüngliche Überhöhung der Binder von 14 cm ist nach sechsjährigem Betrieb auf 10 cm zurückgegangen. Eine weitere

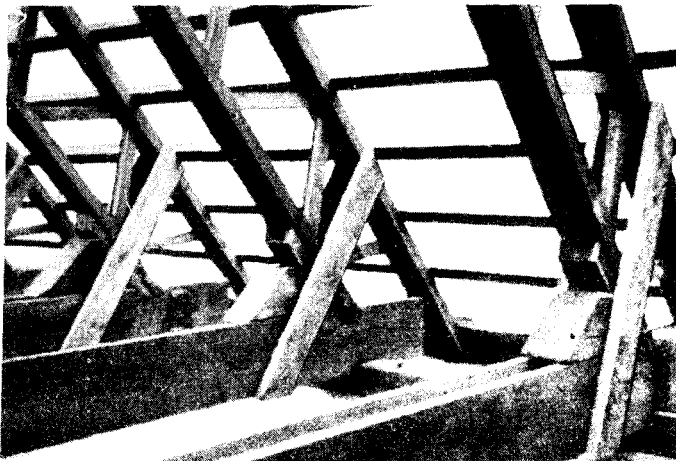


Abb. 13. Tragwerk mit Sparren der Dreieck-Streben-Bauart



Bild 14. Knotenpunkt der Dreieck-Streben-Bauart

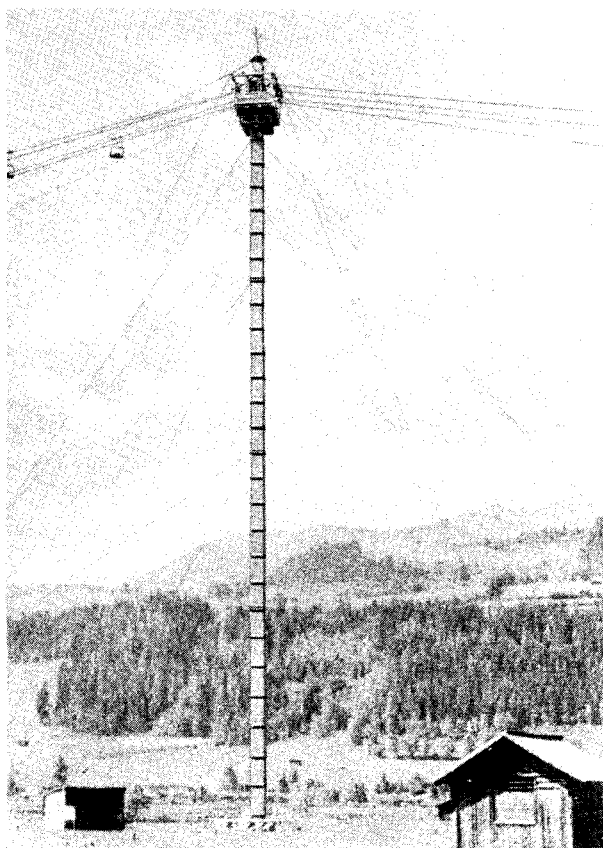


Abb. 15. 80 m hohe Seilbahnstütze

Durchbiegung ist nicht mehr aufgetreten. Die Senkung von 4 cm entspricht etwa der rechnerischen elastischen Durchbiegung. Die reinen Baukosten lagen 22% niedriger als die Baukosten, die bei einer Stahlkonstruktion entstanden wären.

Abb. 13 und 14 zeigen Ausschnitte aus einer Dachkonstruktion in Dreieckstrebenbauart. Die Verleimung erfolgte mit einem Resoreinharzleim. In Abb. 14 sind die eingefrästen Nuten deutlich zu erkennen.

3.2 Vollwandige flächige Tragwerke

Vollwandige flächige Tragwerke können nur genagelt oder verleimt ausgeführt werden. Leimkonstruktionen sind dann zweckmäßig, wenn es sich um sichtbare Bauteile handelt und ein Schutz gegen Feuer erfolgen muß. Sie sind allen anderen hölzernen Tragwerken durch größere Steifigkeit und bei richtiger Verleimung auch durch größere Sicherheit überlegen, dafür in den meisten Fällen teurer. Nagelkonstruktionen haben den Vorteil, daß sich bei Überlastung der Bruch durch sichtbare Verformungen anzeigt, so daß immer Zeit bleibt, die Ursache vor der Zerstörung des Tragwerkes zu beheben.

Abb. 15 zeigt eine 80 m hohe Seilbahnstütze in Nagelbauweise. Die Stütze hat einen quadratischen Querschnitt. In den vier Ecken liegen senkrechte Kanthölzer 10/10 cm, auf die Längsbretter 4/18 und 4/14 genagelt wurden. Auf die zusammengesetzten Eckstiele wurde eine Querschalung und darauf eine Längsschalung aus 26 mm dicken Brettern genagelt. Die innere Wandfläche ist durch ein Gitter aus flach liegenden fortlaufenden Diagonalen aus Bohlen 8/24 ausgesteift. Die Aussteifung der äußeren Flächen erfolgt durch waagerechte Bohlenrahmen 8/24. Der Stützenschaft erinnert in seinem Aufbau und äußerem Bild an ein Bambusrohr.

In den Abb. 16 bis 18 wird die Montage eines Bahnsteigdaches gezeigt.

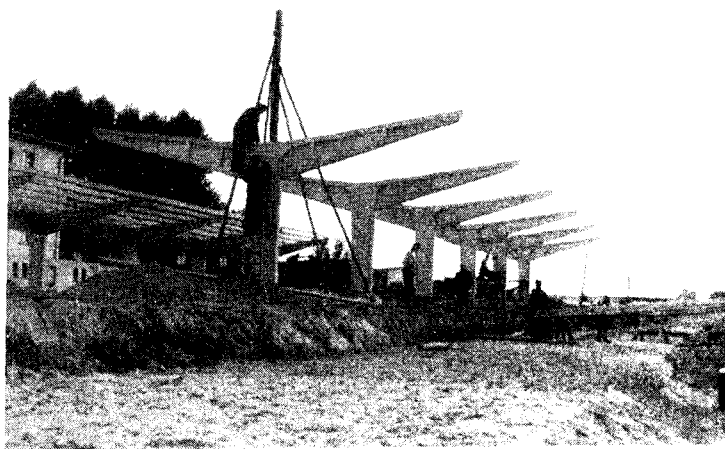


Abb. 16. Binder eines Bahnsteigdaches

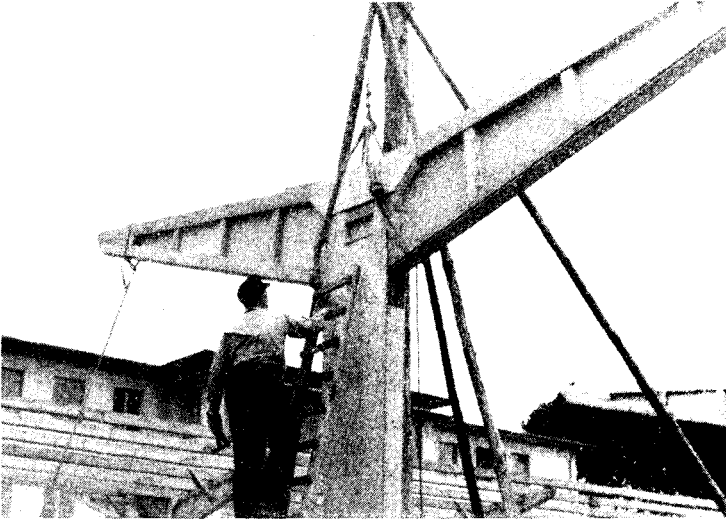


Abb. 17. Binder eines Bahnsteigdaches während der Montage

Die Binder sind in genagelter Vollwandkonstruktion ausgeführt.

Der Ausleger hat einen I-förmigen Querschnitt. Der Steg besteht aus einer 18 mm dicken Buchen-Furnierplatte. Die Gurte sind durch Nägel aus hochwertigem Stahl ($\sigma_{zB} = 13000 \text{ kg/cm}^2$) mit den Stegen verbunden. Der Schaft ist ein Hohlquerschnitt mit 12 mm dicken Sperrholzstegen. Der Ausleger wurde erst auf der Baustelle in den Schaft eingeschoben (Abb. 17) und dann mit diesem durch Nagelung verbunden. Der Stahlschuh ist durch einseitige Geka-Holzverbinder mit den Gurthölzern des Schaftes verbunden (Abb. 18).

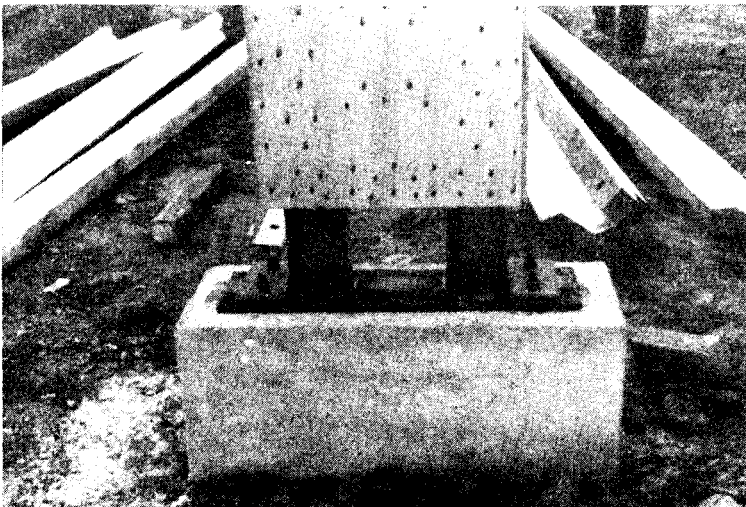


Abb. 18. Fußpunkt eines Bahnsteigdachschafes

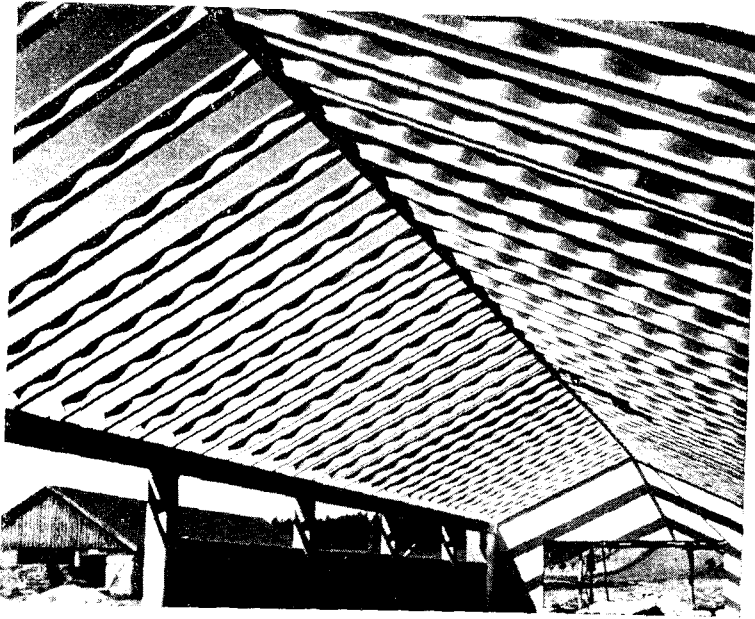


Abb. 19. Tragwerk mit Well-Stegträgern

Die reinen Baukosten lagen 15 bis 25% niedriger als die Baukosten aller anderen Konstruktionen.

Abb. 19 zeigt ein Dachtragwerk aus Wellstegträgern und Abb. 20 die verleimten Rahmenbinder einer Reithalle in Kämpf-Bauweise.

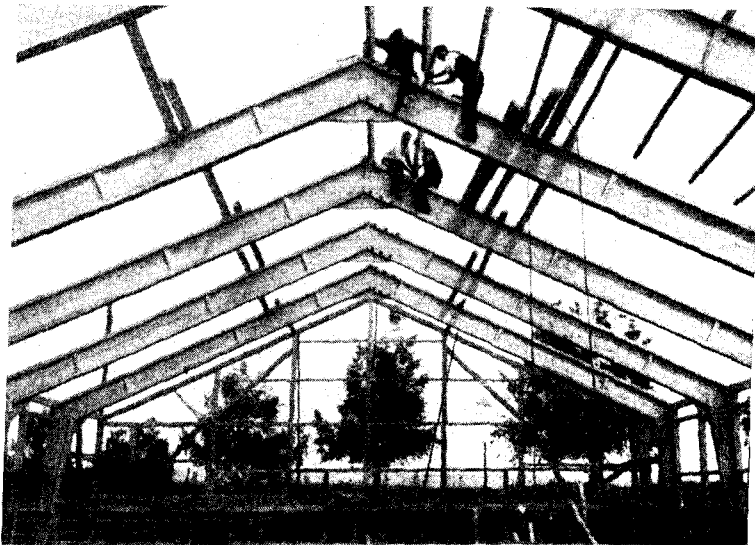


Abb. 20. Hallentragwerk in Kämpf-Bauart

4. Zusammenfassung

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, daß sich durch neuere Entwicklungen im Ingenieurholzbau manche Bauaufgaben in wirtschaftlich zweckmäßiger und ästhetisch befriedigender Weise lösen lassen.

Eine Schuld eines Versagens von Holzkonstruktionen trifft nicht den Baustoff selbst, sondern die Konstrukteure und Statiker, die nur in statischen Größen denken, denen aber die schöpferische Kraft fehlt, die nötig ist, um ein Holztragwerk unter Berücksichtigung der Eigenheiten des Baustoffes meisterhaft zu gestalten. Eine den Vorschriften genügende statische Berechnung ist keine hinreichende, sondern nur eine notwendige Bedingung für erfolgreiches Bauen in Holz.

Literatur

- [1] *Uhde*, „Die Konstruktion und die Kunstformen der Architektur“. Bd. II Der Holzbau, E. Wasmuth, Berlin 1903.
- [2] *Émy*, „Traité de l'art de la Charpenterie“, Paris 1841.
- [3] *Preuß*, „Eiserne Bolzen im Hochbau“. Der Holzbau 1921 und 1922.
- [4] *Stoy*, „Massenermittlung der Lehrbogen von Wölb- und Bogentragwerken unter besonderer Berücksichtigung der Strebenwerke“. Dissertation, Braunschweig, April 1925.
- [5] *Kersten*, „Freitragende Holzbauten“. Springer, Berlin 1922.
- [6] *Stoy*, „Beitrag zur wirtschaftlichen Ausbildung von Lehrgerüsten“. Der Brückenbau, Heidelberg 1927.
- [7] *Baumann*, „Bisherige Ergebnisse der Holzprüfung i. d. Materialprüfungsanstalt a. d. Technischen Hochschule Stuttgart“. Springer Berlin 1922.
- [8] *Seitz*, „Grundlagen des Ing.-Holzbaues“. Springer Berlin 1925.
- [9] *Stoy*, „Über Versuche mit Drahtstiften als Holzverbindungsmitel“. Deutsche Bauzeitung Bd. 64 (1930).
- [10] *Meyer-Wegelin*, „Natürliche und künstliche Astreinigung des Holzes“. Mitt. 15. VDI 36.
- [11] *Fonrobert*, „Grundzüge des Holzbaues im Hochbau“. Ernst und Sohn, 7. Auflage, Berlin 1953.
- [12] *Löhr*, „Über die Beeinflussung der Tragfähigkeit von Geka-Holzverbindern durch Verwendung dünnerer Schraubenbolzen und Unterlegscheiben“. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 12 (1954) Heft 2.
- [13] *Stoy und Mlynek*, „Versuche über den Einfluß der Nagelfestigkeit und der Holzfestigkeit auf die Widerstandsfähigkeit von genagelten Holzverbindungen“. Fortschritte und Forsch. im Bauwesen, Reihe D, Heft 20, Stuttgart 1956.
- [14] *Meyer*, „Die Tragfähigkeit von Nagelverbindungen bei statischer Belastung“. Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 2, Berlin 1957.
- [15] *Marten*, „Spalten und Tragfähigkeit von Nagelverbindungen“. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe D, Heft 9, Stuttgart 1953.
- [16] *Egner*, „Biegeschwellbelastung 35 m langer, genagelter Vollwandträger“. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe D, Heft 9, Stuttgart 1953.
- [17] *Egner*, „Leimbauweisen“, Holzbautaschenbuch, 5. Aufl., Berlin 1957.
- [18] *Egner und Möhler*, „Folgerungen aus Karlsruher und Stuttgarter Knickversuchen der letzten Jahre“. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe D, Heft 20, Stuttgart 1955.